



Theoretical Study of Radio Telescope Optics with Wide Field of View

著者	今田 大皓
内容記述	この博士論文は内容の要約のみの公開（または一部非公開）になっています
発行年	2016
その他のタイトル	広視野電波望遠鏡光学系の理論的研究
学位授与大学	筑波大学 (University of Tsukuba)
学位授与年度	2015
報告番号	12102甲第7637号
URL	http://hdl.handle.net/2241/00144156

専攻名	物理学専攻
学籍番号	201330093
学生氏名	今田 大皓
学位名	博士（理学）
指導教員	中井 直正

博士論文題目 Theoretical Study of Radio Telescope Optics with Wide Field of View
(広視野電波望遠鏡光学系の理論的研究)

本論文では、掃天観測に必要な広視野光学系を電波望遠鏡で実現するために、電波望遠鏡光学系の理論的な考察を行い、広視野電波望遠鏡の光学設計の新たな手法と波面センサーを提案した。

筑波大学の推進する南極望遠鏡をはじめとして、掃天観測が次々に提案されており、観測効率の向上は必須である。一方で、従来の電波望遠鏡は望遠鏡の向いた方向から入射する電波のみを観測でき、2次元のマップを作るには、望遠鏡の向きをすこしずつ変え1点1点観測するという非常に時間のかかる観測の仕方をしてきた。掃天観測の要求に応えるためには、複数点を同時に観測できる広視野の光学系が必要である。

望遠鏡の視野を決める光学的な原因は収差である。望遠鏡焦点に複数個の検出素子を設置し観測に用いることはあったが、設計段階での光学的な性能の予測は収差をきちんと考慮してなされることが少なかった。視野の中心に対しては準光学と呼ばれる解析的な枠組みを用いていた。準光学は収差を取り扱うには適していない理論であるが、視野中心は収差がほとんどないことから、それで十分であった。視野中心以外では解析的な枠組みを持っておらず、計算コストの非常に高い数値計算に頼るのが専らであった。数値計算は収差の影響も加味してなされるが、結果を出すのみで、支配的な収差を打ち消すにはどう設計を変更すればよいかという見通しがなかなか立たない。電波望遠鏡に対する収差の影響の理解は進んでおらず、理論的な考察をすることは極めて重要である。

考察を進めるにあたって、電波望遠鏡の光学系への要求を整理した。1つは入射エネルギーのうちの検出器に到達するエネルギーの比率に相当する開口能率を高く維持すること、もう1つは開口能率が観測周波数に依存しない系にすることである。周波数に依存しない系の条件はフレネル回折を計算することによって示すことができ、レンズの公式を満たす2つの面では、位相まで含め幾何光学的に扱えることがわかった。実際の設計では瞳を周波数に依存しない場所として使うことができる。開口能率は入射電場と検出器の感度分布の結合を計算することで得られる。入射波の破面誤差と検出器の感度分布をゼルニケ多項式で展開し、光線追跡から得られる収差の大きさの値を用いることで、開口能率を解析的に書き下すことに成功した。解析解の応用として、収差による開口能率への影響を減らす条件を導いた。コマ収差由来の指向誤差の低減など、様々な効果が期待される。

周波数に依存しない条件と、収差等まで含めた開口能率のより一般的な表式を求める中で、可干渉性の強い電波を扱う電波望遠鏡を考える際でさえも、幾何光学が非常に重要な役割を果たすことがわかった。論文で得られた開口能率の表式を用いると、収差などの幾何学的な評価と回折などの波動光学的な効果の両方を考慮することができる。

現在得られている南極望遠鏡の光学設計案に、ここで得られた表式を用いて開口能率を計算した。現在得ている設計解は幾何光学的な評価のみによって得られたものであるが、幸いにも開口能率で評価しても十分に高い能率を持つことがわかった。

望遠鏡の光学性能を保証する技術として、点回折干渉計を応用した新たな波面センサーを提案した。一般に広視野の光学系の場合、視野中心のみを使う場合と比較して、光学系に由来する波面の歪みの大きさの制約が厳しくなる。解析的に計算することで、波面測定の系統誤差を予想し、必要な精度(e.g. 50分の1波長)を得るための仕様などを検討することができるようになった。